



综合物探技术在三山岛断裂带与焦家断裂带深部成矿模式中的应用

曹春国, 于义文, 郭国强, 贺春燕, 王阳, 张超

(山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013)

摘要:焦家断裂带与三山岛断裂带,是胶东西北部著名的金矿成矿带。利用综合物探资料,对三山岛断裂与焦家断裂带之间与金成矿关系密切的早前寒武纪变质岩系和中生代花岗岩的空间分布关系进行了重新划分。利用高磁、重力、大地电磁(MT)和可控源音频大地电磁(CSAMT)综合研究剖面,研究探索焦家断裂与三山岛断裂带深部断裂构造的分布关系及成矿模式。系统总结了两带金矿地球物理特征及成矿规律和找矿标志,并进行了深部成矿预测,提出了6处深部成矿靶区。其中Au₄预测靶区,深孔验证见到厚大金矿体,取得了良好的地质科研效果,为胶西北地区深部地质找矿方向提供了重要依据。

关键词:综合物探;成矿模式;成矿预测;三山岛断裂;焦家断裂;金矿

中图分类号:P618.51

文献标识码:A

近年来,在该区深部找矿探索与研究工作中取得了一系列重大突破,充分显示两带之间深部找矿的巨大潜力。在收集整理和分析研究焦家断裂带与三山岛断裂带上地质、矿产、物化探、科研等各类成果资料的基础上,总结了两带深部金矿矿体分布和产出规律;利用综合物探技术探索研究焦家断裂带与三山岛断裂带深部断裂构造及岩体的分布关系,根据区内的成矿规律圈定了深部金矿成矿预测靶区。

1 成矿地质背景及地球物理特征

1.1 成矿地质背景

胶东西北地区在大地构造位置上处于华北地台东南缘、胶北隆起区西北部,沂沭断裂带东侧(图1)。

区内地层简单,出露地层主要包括太古宙唐家庄岩群、胶东岩群,古元古代荆山群、粉子山群,新元古代蓬莱群,中生代莱阳群、青山群及新生代第四系。其中太古宙唐家庄岩群和胶东岩群变质岩系与金矿床(点)关系密切^[1]。

区内岩浆岩十分发育。岩浆岩与金矿的关系比较密切,从空间关系上看,绝大部分金矿均直接产在中生代玲珑超单元花岗岩或郭家岭超单元花岗闪长岩中,或其边缘及外接触带,尤其是近EW向产出的玲珑花岗岩内。同时金矿床周围均有大量中基性脉岩产出,脉岩往往与金矿床密切相伴,强烈蚀变的脉岩有时甚至可以成为重要的找矿标志^[2]。

区域内以断裂构造发育为其突出特点,NE及NNE向断裂构造是金矿定位的主体。

1.2 主要控矿构造特征

该区金矿主要为破碎带蚀变岩型(焦家式)。区内三山岛断裂和焦家主干断裂构造对金矿床的控制作用非常明显。

三山岛断裂:该断裂带展布在莱州市三山岛—仓上一潘家屋子一带,北东端及南西端延入渤海,陆地出露长约12 km,走向NE 40°,倾向SE,倾角35°~40°,上盘为变质岩系,下盘为玲珑超单元花岗岩,断层面由NE向SW变缓,产状向深部变缓;蚀变断裂带宽300~500 m;在矿区内长3~4 km,北延入

* 收稿日期:2011-05-18;修订日期:2012-03-15;编辑:王敏

基金项目:山东省财政资金,鲁国土资发[2009]132号和鲁勘字[2009]097号资助的地质科研项目

作者简介:曹春国(1960—),男,山东昌邑人,高级工程师,主要从事地球物理深部找矿方法技术开发应用研究工作;E-mail:chunguocao@yahoo.com.cn。

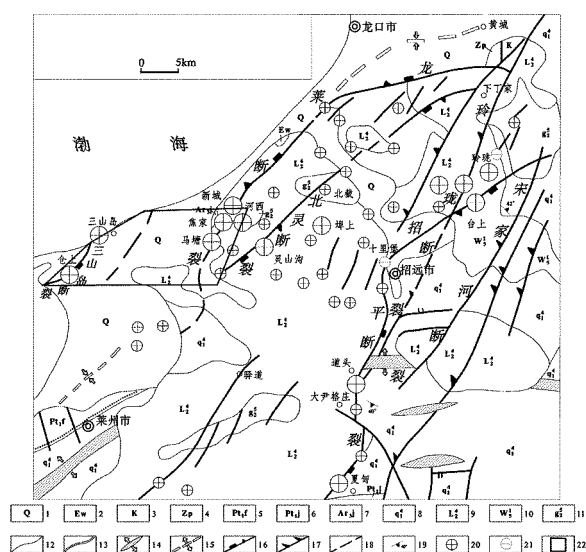


图 1 山东省胶东西北部区域地质略图

1—第四系;2—古近纪五图群;3—白垩纪莱阳群;4—震旦纪蓼群;5—古元古代粉子山群;6—古元古代荆山群;7—新太古代胶东岩群;8—新太古代栖霞超单元;9—新元古代玲珑超单元;10—中生代文登超单元;11—中生代郭家岭超单元;12—地质界线;13—不整合接触界线;14—背斜构造;15—推断隐伏向斜构造;16—胶西北“S”;17—压扭性断裂;18—推断断裂;19—片麻理产状;20—金矿床;21—银矿床;22—工区

渤海,向南被第四系覆盖,控制了三山岛、仓上、新立等金矿^[3]。

焦家主干断裂带:位于三山岛断裂之东,朱桥—辛庄一带,北延与龙口断裂斜交,全长约 30 km,宽 1 km,走向 NE 40°,略呈向西凸的弧形,倾向 NW,倾角 40°左右,断裂带产状深部变缓。断裂平面上呈“S”形,形态不规则,膨缩现象明显,其下盘发育较多与其走向平行或呈“入”字形相交的分支构造;剖面上呈铲式,垂深 1 000 m 以下,倾角最缓处为 16°。断裂发育于早前寒武纪变质岩系与玲珑花岗岩、郭家岭花岗岩接触部位或内接触带,断裂发育部位往往形成较厚的灰黑色断层泥和规模不等的破碎蚀变带。控制了新城、焦家、马塘、寺庄、河东、上庄等金矿^[2,4]。

1.3 地球物理特征

焦家断裂带与三山岛断裂带之间,整体呈重力高,夹有 NWW 向的局部重力低异常,反映两带之间变质岩体与隐伏岩体的分布特征。焦家断裂带以东及三山岛断裂带以西整体呈重力低异常,反映了焦家断裂带以东和三山岛断裂以西为侵入岩体分布区地质特征。焦家断裂带的寺庄—龙埠段,区域重力

场处在由重力高向重力低转换的过渡梯级带上,呈明显线性梯级带异常。寺庄以南和龙埠以北地段处在布格重力异常等值线的转折扭曲部位,三山岛断裂总体展示为 NE 向重力梯级带异常^[5,6]①。

焦家断裂带在主干断裂带两侧磁场特征明显不同,南东侧为大片平缓低磁场,反映了区内玲珑花岗岩体的分布范围;北西侧为跳跃变化杂乱磁场,反映了基底变质岩分布区。主干断裂位于这种由平缓负磁场到波动磁场的过渡带上。在断裂带附近表现为串珠状正负磁异常,其走向与断裂带一致,其主要由穿插侵入的郭家岭超单元花岗闪长岩引起。沿主干断裂向北,断裂带穿插在玲珑超单元花岗岩分布区,表现为低缓负磁场特征,断裂带两侧磁场无明显变化。三山岛断裂,北部磁异常特征显示相对较弱,而经渤海湾后南部磁异常特征显示明显,整体表现为梯级带磁异常。

2 深部空间分布关系

为了研究主要控矿断裂延深变化和进行深部金矿成矿预测,在焦家断裂和三山岛断裂之间施工了 4 条综合物探剖面,进行了重力、高磁、MT 及 CSAMT 数据采集工作。对区内的重、磁资料进行了二次处理,获取了布格重力异常、剩余重力异常、 ΔT 平面异常和垂向一阶导数异常图及重、磁解析延拓图件。依据重、磁平面资料,对研究区内的构造、地层及岩体进行了解释推断;对重、磁剖面资料进行了联合反演模拟计算解释;对 MT、CSAMT 剖面资料进行的二维反演处理^[7,8],获取了综合研究剖面不同深度的视电阻率断面图。

2.1 综合物探推断解释

根据区内岩(矿)石物性特征,变质岩分布区呈重力高、低阻及杂乱跳跃磁场的地球物理场特征,分析圈定了焦家断裂带与三山岛断裂之间变质岩系残留体与中生代玲珑花岗岩体的平面分布范围及展布形态;利用重、磁联合反演模拟计算以及 CSAMT、MT 反演电阻率断面推断了变质岩残留体的厚度,根据综合物探剖面对区内断裂构造进行了重新推断划分。

① 山东国土资源厅,山东省焦家断裂带深部金矿找矿方法试验研究,2008 年。

2.1.1 断裂构造推断

通过综合分析研究,区内共推断具有一定规模的断裂构造 12 条(图 2),其中控制块体、与金矿空间关系密切的 NE 向断裂 7 条,块体内 NW 向和近 EW 向断裂 5 条;与地质吻合或基本吻合的断裂 5 条(F1~F5),新推断断裂 7 条(F6~F12)。F1 和 F6 断裂分别对应于三山岛断裂和焦家断裂。

2.1.2 变质岩系花岗岩体推断

根据重、磁、电场特征,将早前寒武纪变质岩系划分为变质岩系区、变质岩下伏花岗岩区、花岗岩中残留变质岩区 3 种类型(图 2)。

变质岩系区:分布于研究区西南部朱由至平里店一带,位于 F7 断裂和 F8 断裂之间。

变质岩下伏花岗岩区:沿三山岛断裂与焦家断裂带之间的重力高值区分布。

花岗岩中残留变质岩区:分布于研究区东北角,由 F4, F6, F11 断裂界定。

花岗岩体分布区:研究区除上述几片变质岩分布区外,其他地区均为第四系下伏玲珑花岗岩分布区,在布格重力异常图及剩余重力异常图上均反映为明显的重力低。

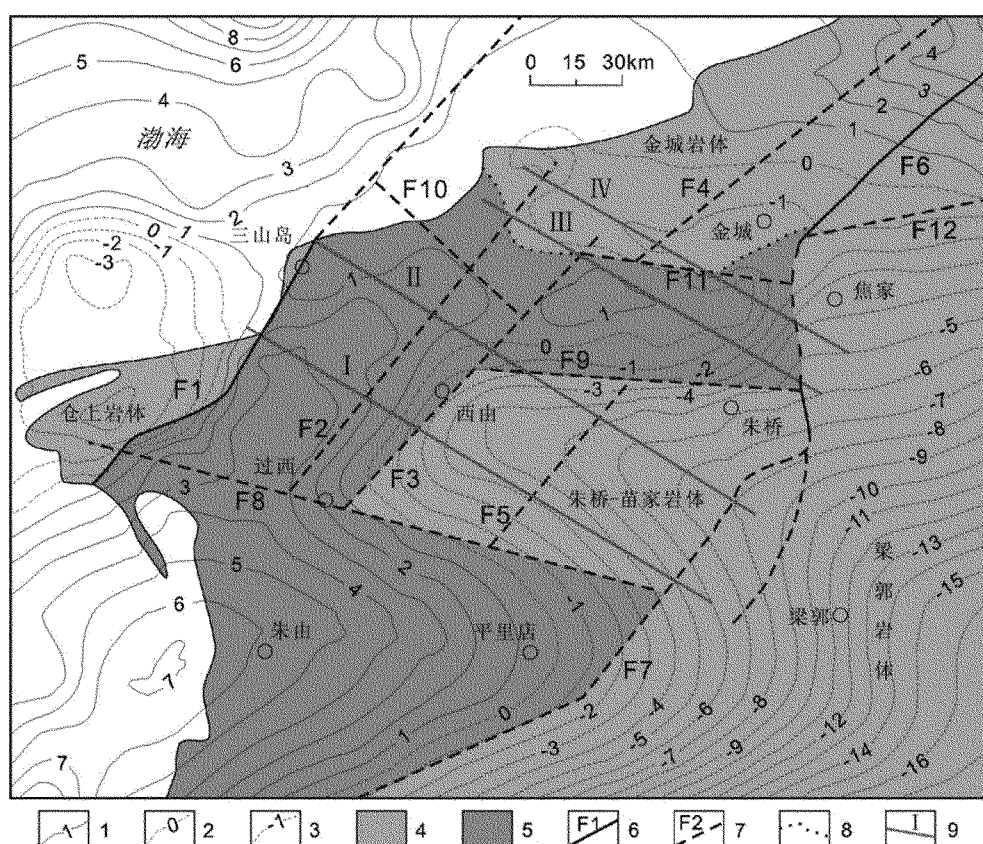


图 2 研究区综合物探推断解释图

1—正等值线;2—零等值线;3—负等值线;4—中生代花岗岩;5—早前寒武纪变质岩系;6—实测断裂;7—
解释断裂;8—推断地质界限;9—重磁精测剖面位置及编号

2.2 综合物探研究剖面联合反演解释

II 剖面是此次研究工作的重点,开展了重力、高磁、CSAMT, MT 综合物探研究。图 3 为该剖面的重、磁、电反演模拟计算地质模型,由图 3 可见,实测重磁剖面曲线与理论曲线具有良好的重合性,反映了模型建立的合理性。反演模拟计算结果表明,变质岩呈残留体的形式分布于三山岛—招贤之间。招

贤以东变质岩系全部剥蚀到花岗岩体,地表出露玲珑二长花岗岩,三山岛断裂与西由断裂之间变质岩残留体最大厚度约 1 900 m。变质岩下伏玲珑花岗岩体,三山岛断裂 2 000 m 以浅处在玲珑花岗岩体与变质岩接触带附近,深部(2 000 m 以下)切割花岗岩体。该剖面东段变质岩残留体厚度 100 m 左右,焦家断裂带大部处在花岗岩体内。

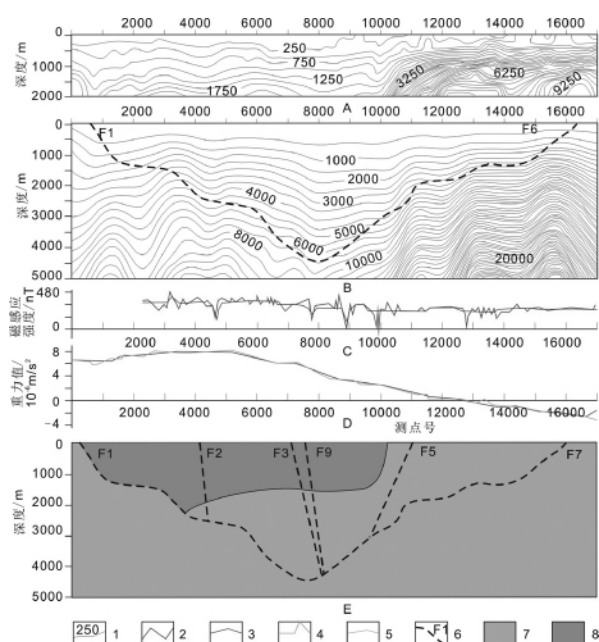


图 3 II 剖面重磁联合反演模拟计算地质剖面图

1—视电阻率等值线;2—实测地磁异常(ΔT)曲线;3—理论地磁异常(ΔT)曲线;4—实测重力异常(Δg)曲线;5—理论重力异常(Δg)曲线;6—推断断裂及编号;7—中生代花岗岩;8—早前寒武纪变质岩系;A—CSAMT 反演视电阻率剖面图;B—MT 反演视电阻率剖面图;C—高精度磁测反演模拟计算剖面图;D—重力反演模拟计算剖面图;E—反演模拟计算推断地质剖面图

2.3 控矿断裂带深、浅部变化规律

通过对已知勘探线上的物探剖面对比分析,CSAMT,MT 资料异常特征反映明显,层位清晰,上部低阻电性层与变质岩系相对应;下部高阻基底电性层,与焦家断裂带下盘的花岗岩体相对应;之间梯级带等值线自上而下呈渐变关系且局部变化较大,对应 2 种不同岩性的接触带,即已知断裂蚀变带。研究剖面东段(焦家断裂带),电阻率断面等值线,呈舒缓波状向 NW 缓倾的梯级带,反映断裂带向下平缓延深。从其电性特征分析,剖面上部变质岩厚度自东向西逐渐加厚,与重磁反演模拟计算结果基本一致,说明利用电性界面梯级带划分变质岩与花岗岩的接触界面是合理可行的。从断面图等值线梯级带的变化特征分析,焦家断裂带主裂面在剖面上呈上舒缓波状变化,倾角呈上陡下缓的变化趋势,等值线缓的部位,反映了断层倾角相对平缓的部位,等值线陡的部位,反映了断层界面倾角相对陡倾的部位。从电性特征分析,断层深部切割花岗岩体,与目前工程控制的断裂特征是一致的。验证结果表明,在焦

家断裂带与三山岛断裂带之间,利用大地电磁法地电断面图等值线的变化规律,来推断焦家断裂带的深部延伸及变化规律是有效可行的^[5,6]①。

三山岛断裂带(剖面西段)1 000 m 以浅倾角近 60°,重磁剖面反演模拟计算结果基本相符。1 000 ~ 2 000 m 之间断裂倾角有明显变陡的趋势,2 000 m 以下断裂倾角又有变缓的趋势。由此看出,断裂深部在剖面上仍呈舒缓波状延伸,深部有逐渐变缓的特征。

2.4 深部相互关系

焦家断裂带与三山岛断裂带是构成胶西北金矿控矿断裂构造体系的主要区域性控矿构造^[9],两断裂倾向相反,在剖面上具有共轭特点,是统一应力作用下的产物,断裂性质相似,规模巨大,构造岩发育,其深部必有内在的联系。研究控矿构造的变化规律及相互关系,对该区深部成矿预测具有非常重要的指导作用^[10]。

在对以往物探资料整理分析的基础上,结合该次工作成果,对两带之间的地球物理场特征与研究区内地层、岩体及断裂构造空间分布对应关系及变化规律归纳如下:

相似性主要包括:二者呈 NE 走向近平行展布,浅部大致沿玲珑超单元花岗岩体与变质岩系的接触带分布,深部切入到花岗岩中;二者在平面上均呈“S”形舒缓波状延伸,在剖面出现上陡下缓的铲状断层特点,具有膨胀夹缩现象;二者均具有规模宽大的构造蚀变岩带,有连续稳定的主裂面,主裂面之下发育有 10~50 cm 厚灰黑色断层泥;二者均为金矿控矿构造,主断裂带上分布焦家式破碎带蚀变岩型金矿,其下出现网脉状金矿化和脉状金矿等类型;断裂活动特征、序次一致,早期出现韧性变形作用,脆性断裂活动阶段则经历了主成矿期的张扭性活动及后期的压扭性活动^[11]。

焦家断裂与三山岛断裂的相似性表明,二者是在统一的构造背景、构造体制下同时形成的断裂构造带。胶西北焦家断裂、三山岛断裂与招平断裂三者组成了同一条沿玲珑超单元花岗岩与早前寒武纪地质体边界分布的大型伸展构造带^[12]。根据前述地球物理资料,结合地质、矿产勘查资料综合推断,

① 山东国土资源厅,山东省焦家断裂带深部金矿找矿方法试验研究,2008 年。

焦家断裂与三山岛断裂在过西—西由—吴家庄子—原家一线附近深部交汇, 交汇深度大致在地表以下 4 500 m 左右。断裂上盘主体为早前寒武纪变质岩, 断裂浅部大致沿变质岩与花岗岩接触带发育, 深部切入玲珑超单元花岗岩内, 断裂下盘均为玲珑超单元花岗岩。两带总体为上陡下缓的铲式断层, 沿倾向呈舒缓波状延深, 由地表至断裂交汇处形成数处倾角明显变化的区段, 构成沿倾向的台阶式^[13]展布特点。深部金矿赋存于断裂倾角变化的台阶处, 焦家断裂和三山岛断裂深部各有 2 处倾角明显变化的台阶, 相应的形成深部金矿 4 个预测靶区(图 4)。

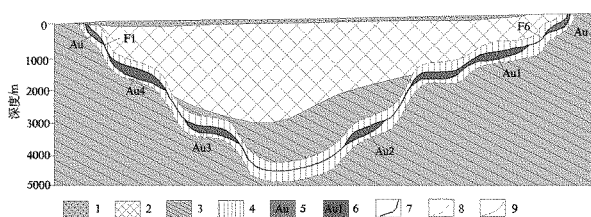


图 4 焦家断裂与三山岛断裂空间关系及深部成矿模式
1—第四纪沉积层; 2—中生代花岗岩; 3—早前寒武纪变质岩系; 4—矿化蚀变带; 5—浅部金矿床; 6—深部金矿预测靶区及编号; 7—断裂构造; 8—蚀变带边界; 9—地质界限; F1—三山岛断裂; F6—焦家断裂

3 成矿规律及深部金矿成矿预测

3.1 典型金矿床赋存规律

研究区金矿赋存规律突出表现为对控矿构造依附有明显的规律性^[2,10]: 断裂构造的拐弯或交汇部位以及倾角变化部位是矿体赋存的可利部位; 矿体具尖灭再现、分枝复合的赋存规律。

3.2 重磁场特征与金矿床分布关系

通过对区内金矿床分布与区域重磁场特征对比分析, 认为区内主要成矿部位金矿床其重磁场特征具有相似性:

(1) 在区内两大金矿成矿带上, 绝大多数金矿床分布在重力低值区与重力高值区的过渡梯级带上及其边缘地带, 并且往往被负背景磁场所表征。

(2) 在重力低的边部, 鼻状正重力异常、重力低的“港湾”部位、舒缓波状重磁梯度带、线性重磁异常转弯、交叉或尖灭端是金矿集中分布的可利部位。

(3) 在重力梯级带拐弯部位易形成大型、特大型金矿。

(4) 串珠带状高磁异常的凸出、凹部往往有大型、特大型金矿床分布。

以上重磁场特征, 表征了区内与金矿成矿密切相关的控矿断裂构造和侵入岩体空间分布规律, 是成矿预测的可利依据。

3.3 综合地球物理找矿模式

通过对研究区内已知典型金矿床重、磁、电地球物理场特征系统的总结^[5,6]^①, 建立了研究区焦家式金矿综合地球物理找矿模式:

(1) 处于变辉长岩与玲珑超单元花岗岩接触破碎带金矿床, 矿体位于重磁场由低到高的梯级带上。电场对应高极化率、次级高阻特征。

(2) 处于花岗片麻岩与玲珑超单元花岗岩接触破碎蚀变带金矿床, 矿体对应重力场有高到低、磁场由低到高的过渡梯级带。电场对应高极化率、次级高阻异常。

(3) 处在玲珑花岗岩与郭家岭花岗闪长岩接触破碎蚀变带金矿。矿体对应重力低值区边部, 串珠状高磁异常梯级带。电场对应高阻、高极化率异常。

3.4 成矿预测

根据研究区成矿规律和金矿找矿标志, 结合综合地球物理特征及综合研究剖面, 认为三山岛断裂与焦家断裂倾向相反, 倾角相近, 具有剖面共轭特征, 深部在 4 500 m 左右相交, 两带下盘出露玲珑超单元花岗岩, 剥蚀程度高, 两带之间有厚大变质岩残留体, 剥蚀程度相对弱, 因此两带之间金矿资源潜力很大, 但其矿床的埋藏深度较大。在两断裂带的主断裂面倾角发生变化的部位, 成矿条件最有利。据此根据综合物探成矿模式圈定了 6 处深部金矿成矿可利部位(图 4)。Au1~Au4 找矿靶区沿焦家断裂和三山岛断裂倾向由陡变缓的变化台阶展布, 构成空间上的阶梯式矿体分布型式, 证实了胶西北金矿阶梯成矿模式^[13]。胶西北金矿受断裂构造控制, 三山岛、焦家、招平 3 条控矿断裂实为同一条大型伸展构造带, 金矿赋存于断裂构造下盘。断裂在剖面上呈铲式分布^[13], 由地表向深部出现多个倾角由陡变缓的变化台阶, 相应的形成深部成矿空间, 金矿体厚大部位赋存于台阶的平缓部分, 构成阶梯式分布型式。

① 山东国土资源厅, 山东省焦家断裂带深部金矿找矿方法试验研究, 2008 年。

4 结论

(1) 利用综合物探联合反演模拟计算, 分析研究三山岛断裂与焦家断裂带深部相互关系, 研究认为三山岛断裂与焦家断裂带, 在剖面上均呈舒缓波状延伸, 并在深部相交。交汇部位在平面上位于原家庄—吴家庄子—西由—过西一带。相交深度在地表以下 4 500 m 左右。

(2) 系统总结了区内成矿规律, 建立了综合地球物理深部找矿模式。

(3) 利用成矿规律和综合地球物理找矿模式, 对三山岛断裂和焦家断裂带深部金矿进行了成矿预测, 圈定了 6 处深部金矿成靶区, 为区内深部金矿勘探提供了理论依据。

(4) 向阳岭—新立村预测靶区 (Au4), 经深孔验证于 2 400~2 500 m 之间见到厚大金矿体, 取得了良好的地质科研效果。

参考文献:

[1] 鲍中义, 钮涛, 高书剑, 等. 焦家金矿深部矿体地质特征及深部

成矿预测[J]. 山东国土资源, 2010, 26(1): 6-9.

[2] 宋明春, 崔书学, 伊丕厚, 等. 胶西北金矿集中区深部大型—超大型金矿找矿与成矿模式[M]. 北京: 地质出版社, 2010.

[3] 李士先, 刘长春. 胶东金矿地质[M]. 北京: 地质出版社, 2005.

[4] 崔书学. 焦家断裂带南延段找矿前景分析[J]. 山东国土资源, 2007, 23(10): 7-10.

[5] 曹春国, 冯国彦, 刘红. 频谱激电法 (SIP) 在深部金属矿探测中的原理与应用[J]. 山东国土资源, 2009, 25(9): 41-45.

[6] 曹春国, 黄文院. 综合物探方法在深部找矿工作中的应用[J]. 山东国土资源, 2010, 26(4): 16-19.

[7] 石昆法. 可控源音频大地电磁法理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.

[8] (俄罗斯) 万扬著, 孔祥儒, 曾治权译, 电磁测深[M]. 北京: 海洋出版社, 2001.

[9] 李士先, 王建收, 胶东“玲珑—焦家式”金矿资源潜力与找矿[A]//矿产地质论文汇编[C]. 山东地勘局, 2004: 11-17.

[10] 李宏骥. 胶东地区内生金矿成矿规律, 矿产地质论文汇编. 山东地勘局, 2004, 80-83.

[11] 苗来成, 罗镇宽, 等. 胶东招掖金矿带控矿断裂演化规律[J]. 地质找矿论丛, 1997, 12(1): 26-35.

[12] 宋明春, 崔书学, 杨之利, 等. 山东焦家金矿带深部找矿的重大突破及其意义[J]. 地质与勘探, 2008, 44(1): 1-8.

[13] 宋明春, 伊丕厚, 徐军祥, 等. 胶西北金矿阶梯式成矿模式[M]. 中国科学, (出版中) 2011.

Analysis on Ore-forming Model in Deep Part of Jijia Gold Deposit in Sanshandao by Using Integrated Geophysical Exploration Method

CAO Chunguo, YU Yiwen, GUO Guoqiang, HE Chunyan, WANG Yang, ZHANG Chao

(Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: Jiaojia fault belt and Sanshandao fault belt are well known gold mineralization belts in northwestern Jiaodong belt. By using integrated geophysical information, metamorphic rocks in the early Precambrian which have close relation with gold mineralization between Sanshandao fault belt and Jiaojia fault belt, and spatial distribution of Mesozoic granites have been classified again. By using high magnetic, gravity, magnetotelluric (MT) and controlled source audio magnetotelluric (APPLICATION OF CSAMT) profile, distribution relationship and ore-forming model of fault structures in the deep part of Jiaojia fault belt and Sanshandao fault belt have been studied. Geophysical characteristics, ore-forming rules and prospecting signs of these two belts have been summarized, deep mineralization have been predicated, and 6 deep mineralization target areas have been circled. Among them, Au4 forecasting target area has seen thick gold ore bodies by the deep hole test, gained good geological research achievements, and provide an important basis for deep geological prospecting in deep part of northwestern Jiaozhou area.

Key words: Integrated geophysical exploration; metallogenic model; metallogenic predication; Sanshandao fault belt; Jiaojia fault belt; gold deposit